

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Antun Jugović

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Davor Zvizdić, dipl. ing.

Student:

Antun Jugović

Zagreb, 2015.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svome mentoru, Prof. dr. sc. Davoru Zvizdiću na stručnim savjetima, i pomoći.

Posebno bih se zahvalio Dr. sc. Danijelu Šestanu na velikoj pomoći i konzultacijama tijekom ispitivanja i mjerenja u laboratoriju kao i pri izradi završnog rada.

Antun Jugović



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Antun Jugović**

Mat. br.: 0035183386

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Ispitivanje kupke za umjeravanje termometara**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Testing of thermometer calibration bath**

Opis zadatka:

Za potrebe umjeravanja termometara u području od $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$, potrebno je ispitati aksijalne i radijalne temperaturne gradijente vodene kupke. Također je potrebno ispitati vrijeme stabilizacije i stalnost kupke. Dobiveni podaci koristit će se za određivanje doprinosa kupke na ukupnu mjernu nesigurnost umjeravanja termometara. Koristiti postojeću mjernu liniju i opremu u Laboratoriju za procesna mjerenja FSB-a.

U radu je potrebno izraditi:

- Pregled teorijskih podloga za usporedbeno umjeravanje termometara.
- Opis postupka ispitivanja kupke.
- Shematski prikaz mjernog sustava za ispitivanje kupke.
- Tablični i grafički prikaz rezultata ispitivanja.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
25. studenog 2014.

Zadatak zadao:


Prof. dr. sc. Davor Zvizdić

Rok predaje rada:
1. rok: 26. veljače 2015.
2. rok: 17. rujna 2015.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 2., 3., i 4. ožujka 2015.
2. rok: 21., 22., i 23. rujna 2015.
Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Igor Balen

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	III
POPIS OZNAKA	IV
SAŽETAK.....	V
SUMMARY	VI
1. UVOD.....	1
2. ISPITIVANJE TERMOSTATIRANE KUPKE	2
2.1. Temperaturni gradijenti.....	3
2.2. Zona umjeravanja.....	4
3. KORIŠTENA OPREMA	5
3.1. Termostatirana kupka	5
3.2. Termometri za umjeravanje.....	8
3.3. Termometrički otpornički most.....	9
4. POSTUPAK ISPITIVANJA.....	10
4.1. Uvjeti okoliša i priprema mjerenja.....	10
4.2. Stalnost temperature	11
4.3. Homogenost temperature u radijalnom smjeru	12
4.4. Homogenost temperature u aksijalnom smjeru	14
4.5. Ukupna homogenost temperature u zoni umjeravanja	14
5. REZULTATI.....	15
5.1. Homogenost temperature u radijalnom smjeru	15
5.2. Homogenost temperature u aksijalnom smjeru	16
5.3. Stalnost temperature	17
5.3. Ukupna nesigurnost kupke	20
6. ZAKLJUČAK.....	21
LITERATURA.....	22
PRILOZI.....	23

POPIS SLIKA

Slika 1.	Temperaturni gradijenti	3
Slika 2.	Izotermalni blok	4
Slika 3.	Pozicije testiranja	4
Slika 4.	Mjerna linija	5
Slika 5.	Termostatirana kupka TEKUP 10 KB12.....	6
Slika 6.	Calcon 2000, regulator temperature	7
Slika 7.	Termometri korišteni za mjerenje temperature kupke.....	8
Slika 8.	Otpornički most MKT 100	9
Slika 9.	Tlocrt izotermalnog bloka	12
Slika 10.	Dijagramski prikaz stalnosti temperature za 20 °C	17
Slika 11.	Dijagramski prikaz stalnosti temperature za 40 °C	18
Slika 12.	Dijagramski prikaz stalnosti temperature za 60 °C	18
Slika 13.	Dijagramski prikaz stalnosti temperature za 80 °C	19

POPIS TABLICA

Tablica 1. Specifikacije kupke	7
Tablica 2. Specifikacije termometra.....	8
Tablica 3. Specifikacije otporničkog mosta	9
Tablica 4. Homogenost temperature u radijalnom smjeru	15
Tablica 5. Homogenost temperature u aksijalnom smjeru	16
Tablica 6. Stalnost temperature	19
Tablica 7. Ukupna nesigurnost kupke	20

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
u	mK	Mjerna nesigurnost
ϑ	°C	Temperatura
T	K	Temperatura
T_{avg}	K	Prosječna temperatura
T_{max}	K	Maksimalna temperatura
T_{min}	K	Minimalna temperatura
R	Ω	Otpor
n_0	-	Jedinični vektor

SAŽETAK

U sklopu ovog rada provedeno je ispitivanje radijalnih i aksijalnih gradijenata te stalnosti temperature unutar radnog volumena termostatisane kupke Heto KB12 (interna LPM oznaka TEKUP10), koja se koristi za umjeravanje termometara. Ispitivanje kupke izvršeno je korištenjem dvaju neumjerenih termometara, prema internoj metodi Laboratorija. U sklopu izrade završnog rada opisani su postupci ispitivanja termostatisane kupke te korištena oprema. Na osnovi rezultata mjerenja provedenih u laboratoriju, proračunat je doprinos kupke ukupnoj mjernoj nesigurnosti prilikom njenog korištenja za umjeravanje termometara. U radu je također dan tablični i grafički prikaz rezultata provedenih ispitivanja. Na kraju rada su izneseni relevantni zaključci o rezultatima dobivenim ispitivanjem termostatisane kupke.

Ključne riječi: termostatisana kupka, mjerna nesigurnost, homogenost temperature, stalnost

SUMMARY

This project is a case study about thermostatic bath Heto KB-12 (internal LPM mark *TEKUP10*), which is being used for calibration of thermometers. Examination is performed with damp method of unstable temperature variations. Calibration of thermostatic bath, used equipment and research methods are through the thesis elaborated.

Results of measurements in the laboratory show certain calibration inaccuracy. Charts and diagrams based on the examination show inaccuracy in due to radial, axial gradients and temperature stability. In addition, relevant conclusions and outlook about the results of examination are presented.

Keywords: thermostatic bath, measures uncertainty, temperature homogeneity, stability

1. UVOD

Tema završnog rada je ispitivanje karakteristika termostatirane kupke Heto KB12 (interna oznaka TEKUP10), koja se koristi kao zona kontrolirane temperature za umjeravanje termometara. Ispitivanje se sastoji od utvrđivanja aksijalnog i radijalnog temperaturnog profila unutar radnog volumena kupke te stalnosti temperature. Na temelju rezultata provedenih ispitivanja moguće je utvrditi karakteristike kupke. Termostatirane kupke koriste se za umjeravanje termometara, čime se određuje njihovo odstupanje od referentne temperature.

Proizvođači kupki daju podatke koji često nisu potpuni niti dovoljno precizni za potrebe kvalitetnog umjeravanja termometara. Iz ovog razloga umjerni laboratoriji provode vlastita ispitivanja, kako bi osigurali kvalitetu svojih usluga. Zanimljivo je kako niti jedan postupak ispitivanja nije standardiziran u svijetu pa svaki laboratorij koristi vlastitu metodu ispitivanja. Kada bi postojao opće prihvaćen postupak ispitivanja, korisnici bi tražene podatke o stalnosti i homogenosti kupke mogli pronaći u katalozima. Neovisno o tome jesu li ovi podaci dostupni ili ne, tijekom eksploatacije može doći do kvara ili promjene karakteristika opreme (kupke) pa je i to razlog zbog kojeg je potrebno provoditi periodička ispitivanja.

U ovom završnom radu korištena je metoda razvijena na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu u Laboratoriju za procesna mjerenja od strane prof. dr. sc. Davora Zvizdića i suradnika. Metoda se zasniva na ispitivanju s parom neumjerenih termometara.

2. ISPITIVANJE TERMOSTATIRANE KUPKE

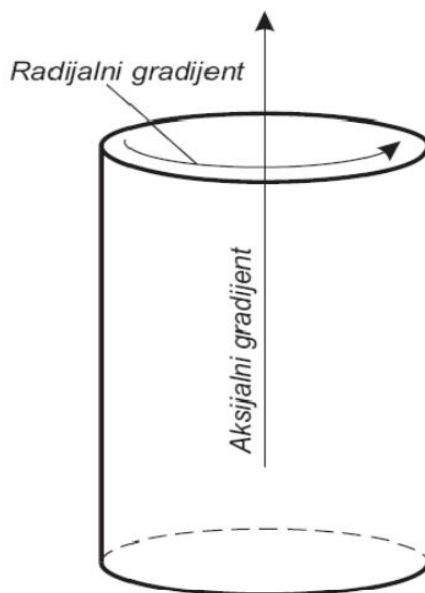
Umjeravanje termometara sadrži mnoge izvore mjernih nesigurnosti. Kako bi umjeravanje termometara bilo što točnije, mjerne nesigurnosti treba svesti na najmanju moguću razinu, a prije toga ih je potrebno utvrditi. Iz ovog razloga provodimo ispitivanje termostatirane kupke pomoću koje se umjeravaju termometri.

Najvažnije značajke ispitivanja termostatske kupke su stalnost (stabilnost) i homogenost temperature unutar njenog radnog volumena. Homogenost temperature ukazuje na kvalitetu termostatirane kupke u vidu njene izolacije prema okolišu, preciznosti regulatora snage grijača kupke te mogućnosti što bolje cirkulacije medija u kupki.

U ovom završnom radu, umjeravanje termostatirane kupke Heto KB12 (TEKUP10) provodi se metodom s parom neumjerenih termometara. Radni medij je voda. Ispitivanje je provedeno na temperaturama: 20 °C, 40 °C, 60 °C i 80 °C. Iako je zadatkom predviđeno ispitivanje i u točki 90 °C, to nije bilo moguće izvesti zbog značajnog hlapljenja vode. Budući da se temperature sobe za vrijeme ispitivanja kretala u granicama od 23 °C do 27 °C, prilikom ispitivanja u temperaturnoj točki 20 °C za hlađenje kupke korištena je voda iz gradskog vodovoda.

Treba napomenuti kako niti jedan postupak umjeravanja ne može zamijeniti iskusnog laboranta u laboratoriju i njegovo veliko iskustvo u radu s određenim kupkama te kako ne postoji idealan sistem umjeravanja koji bi bio potpuno vremenski stalan i bez temperaturnih gradijenata.

2.1. Temperaturni gradijenti



Slika 1. Temperaturni gradijenti [1]

Temperaturni gradijenti koji se razmatraju u ovoj kupki su radijalni i aksijalni, kao što je prikazano na slici 1, jer se radi o kupki cilindričnog oblika uz upotrebu cilindričnog izotermalnog bloka.

Temperaturni gradijent jest promjena temperature u smjeru normale na izotermalnu plohu te je on vektor s pozitivnim predznakom u smjeru povećanja temperature.

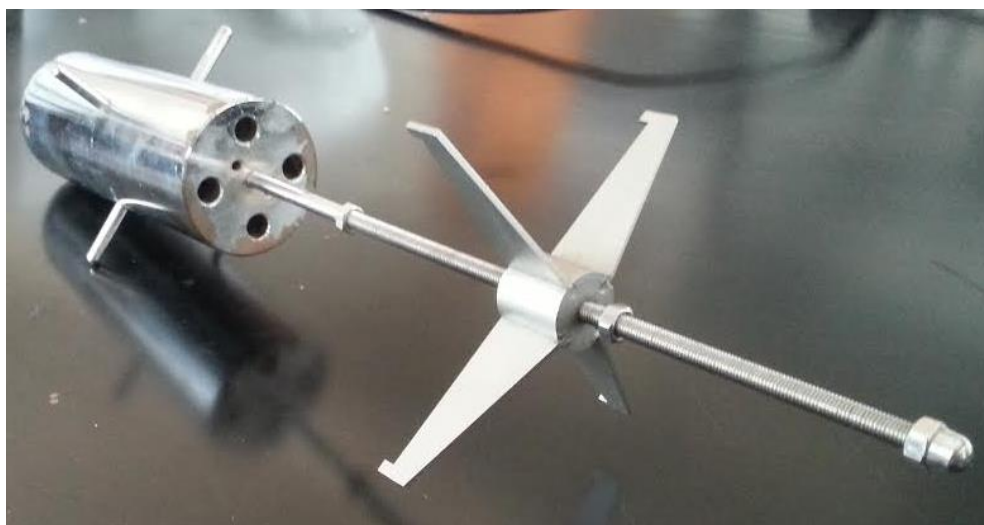
$$\text{grad } \vartheta = \vec{n}_0 \cdot \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\Delta \vartheta}{\Delta n} = \vec{n}_0 \cdot \frac{\partial \vartheta}{\partial n}$$

gdje je : n_0 – jedinični vektor

$\frac{\partial \vartheta}{\partial n}$ – skalarna veličina temperaturnog gradijenta izražena u K/m

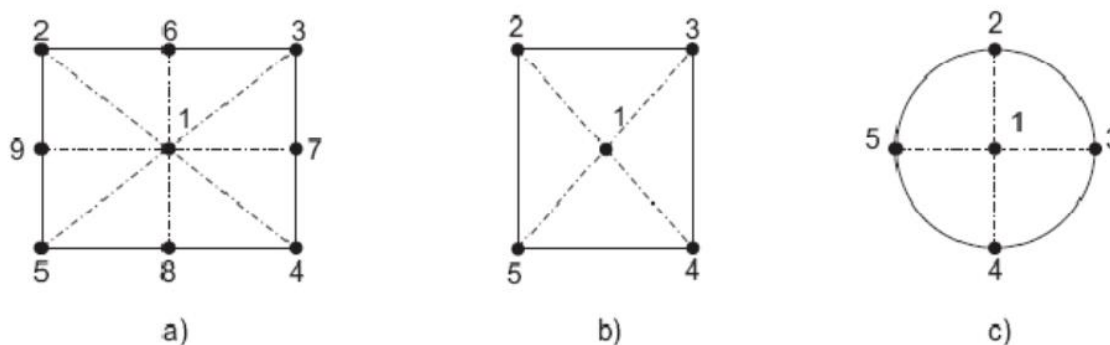
2.2 Zona umjeravanja

Prilikom umjeravanja termometara, kupka se u pravilu koristi u kombinaciji s izotermalnim blokom. Radi se o cilindričnom bloku izrađenom od bakra, u kojem su izbušena četiri provrta (slika 2.) Provrta su namijenjeni za postavljanje termometara. Razlike temperatura između provrta određuju se pomoću etalonskih termometara, koji se za vrijeme ispitivanja premještaju iz jednog provrta u drugi, na način da se pokrate odstupanja jednog termometra u odnosu na drugi.



Slika 2. Izotermalni blok

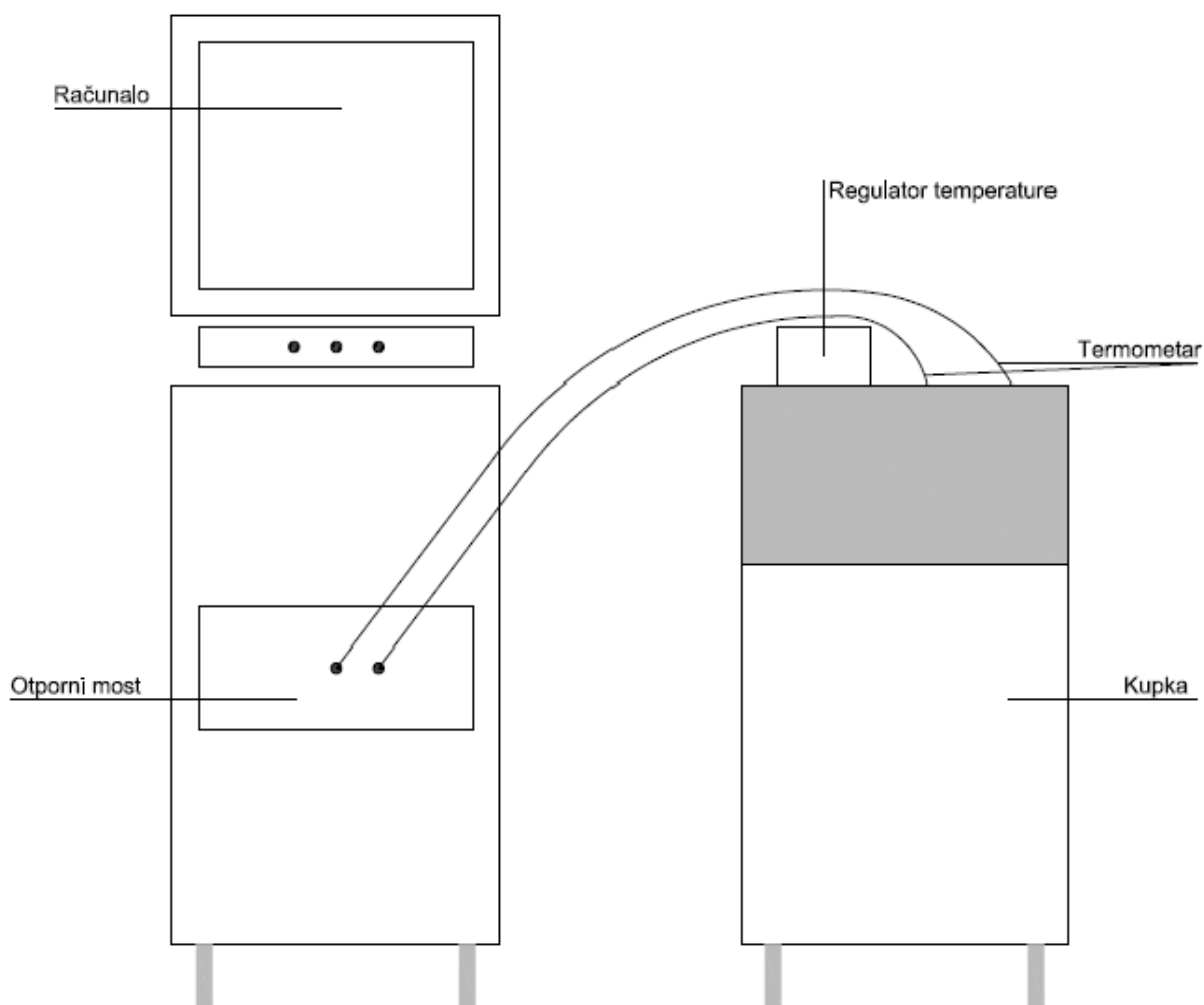
Izotermalni blok predstavlja zonu umjeravanja termostatisane kupke koja se ispituje. Obuhvaća sam blok te provrte u njemu. Kupke se mogu ispitivati i bez izotermalnog bloka, no kako se većina umjeravanja vrši u bloku, ovim je ispitivanjem bilo potrebno obuhvatiti njegov utjecaj. Mjesta ispitivanja mogu biti unaprijed definirana ili nasumično izabrana (slika 3.).



Slika 3. Pozicije testiranja [1]

3. KORIŠTENNA OPREMA

Oprema korištena u postupku ispitivanja sastavni je dio Laboratorija za Procesna mjerenja na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Ispitivanje je provedeno na mjernoj liniji prikazanoj na slici 4.



Slika 4. Mjerna linija

3.1. Termostatirana kupka

Ispitivanje je provedeno na kupki Heto KB12 (TEKUP 10) koja je prikazana na slici 5. Kupka je sastavni dio Laboratorija za mjerenje Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Tehničke specifikacije kupke prikazane su tablicom 1.



Slika 5. Termostatirana kupka TEKUP 10 KB12

Tablica 1. Specifikacije kupke

Proizvođač	Heto Calibration	
Model	Tekup 10 KB12	
Temperaturno područje	voda	20 °C do 90 °C
	silikonsko ulje	20 °C do 300 °C
Kapacitet radnog medija	8 litara	
Dimenzije	visina	1410 mm (960 mm)
	širina	450 mm
	dužina	415 mm
Dimenzije unutrašnjosti kupke	promjer	97 mm
	dubina	500 mm
Težina	115 kg	
Snaga	450 W	
Napajanje	220 V; 50 Hz	

Regulacija temperature kupke ostvarena je regulatorom Calcon 2000 regulatorom (slika 6.). Radi se o PID regulatoru temperature visokih performansi s mikroprocesorskim upravljanjem. Ovim regulatorom istog proizvođača moguće je podesiti parametre poput radne temperature i upozorenja za maksimalnu i minimalnu temperaturu.



Slika 6. Calcon 2000, regulator temperature

3.2. Termometri za umjeravanje

Za mjerenje temperature u kupki korišteni su etalonski platinski otporni termometri. Specifikacije termometara su dane u tablici 2.

Tablica 2. Specifikacije termometra

Proizvođač	Hart Scientific
Model	5628
Nominalni otpor osjetnika	25,5 Ω
Temperaturno područje	-196 °C do 670 °C
Točnost	6 mK do 1 5mK (u području -200 °C do 420 °C)
Dimenzije	Ø6.5 mm x 510 mm, spojni vodovi 2 m



Slika 7. Termometri korišteni za mjerenje temperature kupke

3.3 Termometrijski otporni most

Otpori termometara mjereni su pomoću otpornog mosta proizvođača Anton Paar, model MKT 100 (slika 8). Specifikacije otpornog mosta dane su u tablici 3.

Tablica 3. Specifikacije otpornog mosta

Model		MKT 100
Područje primjene	temperatura	-200 °C do 800 °C
	otpor	0 Ω do 400 Ω
Rezolucija	temperatura	0.25 mK
	otpor	100 $\mu\Omega$
Nesigurnost u mjerenju	temperatura	< 1 mK
	otpor	< 400 $\mu\Omega$



Slika 8. Otpornički most MKT 100

4. POSTUPAK ISPITIVANJA

U termostatiranu kupku postavljamo izotermalni blok s četiri provrta. Zonu umjeravanja definira izotermalni blok svojom visinom i udaljenostima provrta. Pozicionira se tako da se simetrala izotermalnog bloka nalazi na simetrali same kupke te se u radni volumen kupke postavlja tako da je svaki termometar uronjen 250 mm ispod nivoa tekućine u kupki.

Postupak ispitivanja se sastoji od:

- promatranja pada ili rasta temperature kupke sve do tražene temperature ustaljenja
- za unaprijed zadanu temperaturu određuje se homogenost temperature i stalnost
- prelazak na sljedeću temperaturu testiranja

Za svaku od temperatura, pri kojima je potrebno ispitati kupku, najprije se provodi ispitivanje stalnosti a zatim radijalna i aksijalna homogenost temperatura.

Rezultate ovih ispitivanja prikazuju se tablično i grafički pomoću dijagrama.

4.1. Uvjeti okoliša i priprema mjerenja

Tijekom čitavog postupka mjerenja moraju biti zadovoljeni određeni uvjeti, kako bi postupak bio valjan:

- Temperatura zraka mora biti između $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ s oscilacijama manjim od $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ u toku cijelog vremena mjerenja,
- relativna vlažnost tijekom mjerenja mora se kretati u granicama između 25 % RH i 75 % RH.

U svrhu pripreme za provedbu mjerenja, mjeritelj mora u okoliš termostatirane kupke postaviti uređaje za praćenje uvjeta okoliša i pričekati otprilike desetak minuta kako bi se uređaji stabilizirali. Ispitivanje se mora zaustaviti ako mjeritelj tijekom pregledavanja kupke ustanovi da je nemoguće izvesti mjerenje. U slučaju ako se dogodi nešto zbog čega ispitivanje postaje opasno, također je potrebno zaustaviti mjerenje. Osim navedenih mjera opreza, potrebno je odrediti temperaturne točke ispitivanja prema dogovoru s naručiteljem, skicirati raspored prostornih točaka unutar kupke u kojima se izvršava mjerenje te pripremiti termometre i ostalu opremu za rad.

4.2. Stalnost temperature

Jedan od termometara postavlja se u proizvoljni provrt te se čeka dok se temperatura termometra ustali (dovede u stacionarno stanje), nakon čega se temperatura očitava u kratkim vremenskim intervalima u periodu od 30 minuta. Ovim postupkom se određuje 30 minutna stalnost temperature.

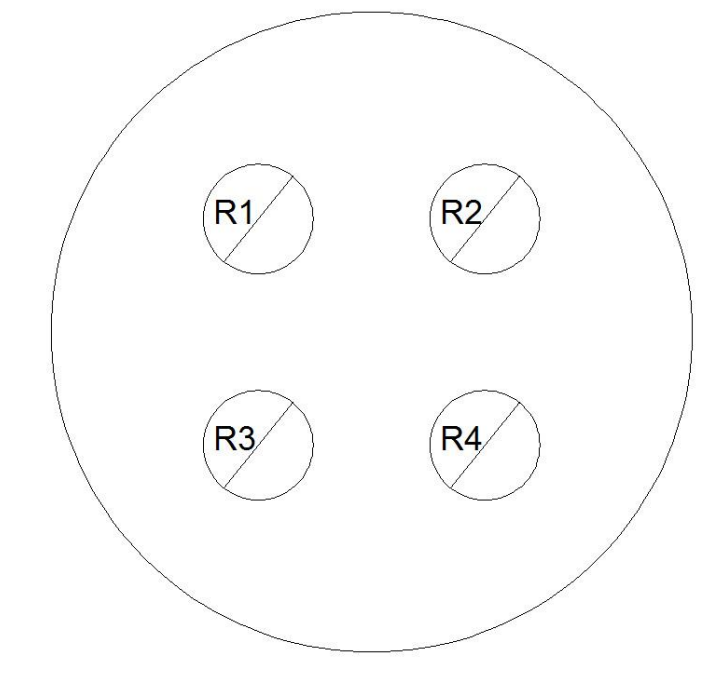
Doprinos mjernoj nesigurnosti umjeravanja termometara zbog stabilnosti temperature u radnom volumenu kupke određuje se pomoću slijedećeg izraza:

$$u_{stalnost} = \frac{1}{\sqrt{3}} (T_{avg} - |T_{max,min}|)$$

gdje je : T_{avg} – srednja temperatura unutar 30 minuta

$T_{max,min}$ – najveća ili najmanja temperatura očitana unutar 30 minuta

4.3. Homogenost temperature u radijalnom smjeru



Slika 9. Tlocrt izotermalnog bloka

Radijalni gradijenti ispituju se u pet točaka mjerenja. Na slici 9. prikazan je tlocrt izotermalnog bloka u koji se postavljaju termometri. Odabire se jedan od provrta, koji će biti referentan. U početku ispitivanja postavljaju se termometri u dva zadana provrta od kojih je jedan referentan, a drugi proizvoljno odabran. Nakon što se očitavanja oba termometra ustale, provodi se 10 minutno bilježenje vrijednosti temperatura. Nakon toga se termometri zamijene u istim provrtima te se ponavlja mjerenje u trajanju od 10 minuta. Zamjenom termometara poništava se pogreška uzrokovana odstupanjem jednog termometra u odnosu na drugi. Odstupanje termometara nastaje kao posljedica mjerne nesigurnosti njihovog umjeravanja te vremenske promjene njihovih karakteristika. Nakon zamjene termometara moguće je precizno utvrditi temperaturne gradijente u ispitivanim provrtima. Ovaj se postupak ponavlja za sve ostale provrte na bloku.

Temperaturni gradijent između dvaju provrta računa se upotrebom slijedećeg izraza:

$$d\vartheta = \vartheta(R2) - \vartheta(R1) = \frac{[\vartheta(R2, T1) - \vartheta(R1, T2)] + [\vartheta(R2, T2) - \vartheta(R1, T1)]}{2}$$

ili u općem slučaju:

$$d\vartheta = \vartheta(RY) - \vartheta(RX) = \frac{[\vartheta(RY, TX) - \vartheta(RX, TY)] + [\vartheta(RY, TY) - \vartheta(RX, TX)]}{2}$$

Najveći temperaturni gradijent uzima se za računanje mjerne nesigurnosti u radijalnom smjeru:

$$u_{RADIJALNI} = \frac{a_{RG}}{\sqrt{3}} \rightarrow a_{RG} = d\vartheta_{MAX}$$

gdje je : a_{RG} – najveća temperaturna razlika između provrta za traženu temperaturu

4.4. Homogenost temperature u aksijalnom smjeru

Postupak ispitivanja homogenosti temperature u aksijalnom smjeru provodi se s dva termometra uronjena 250 mm od nivoa vode u kupki, postavljena u proizvoljno izabrane provrte. Jedan od termometara ostaje tijekom cijelog mjerenja u početnom položaju te ga nazivamo referentnim. Drugi termometar se podiže vertikalno prema gore u koracima od 10 mm, sve dok se ne podigne za 60 mm. Na svakom koraku (točki) mjerenja bilježe se temperature u periodu od 10 minuta.

Zabilježenim vrijednostima temperatura provrta dodaju se ili oduzimaju razlike očitavanja neumjerenih termometara. Maksimalna vrijednost je najveća razlika između točaka mjerenja uz prethodno uračunata međusobna odstupanja termometara.

Mjerna nesigurnost u aksijalnom smjeru za traženu temperaturu je :

$$u_{AKSIJALNI} = \frac{a_{AG}}{\sqrt{3}} \rightarrow a_{AG} = d\vartheta_{MAX}$$

gdje je : a_{AG} – najveća temperaturna razlika između vertikalnih koraka za traženu temperaturu

4.5. Ukupna homogenost temperature u zoni umjeravanja

U svakoj pojedinoj temperaturnoj točki ispitivanja potrebno je odrediti radijalnu i aksijalnu homogenost temperature, kako bi se utvrdio njen doprinos ukupnoj mjernoj nesigurnosti umjeravanja termometara.

Ukupna homogenost temperature u zoni umjeravanja računa se kao korijen zbroja kvadrata radijalne i aksijalne homogenosti temperature:

$$u_{HOMOGENOSTI} = \sqrt{u_{RADIJALNI}^2 + u_{AKSIJALNI}^2}$$

5. REZULTATI

Rezultati mjerenja homogenosti temperature u radijalnom i aksijalnom smjeru te stalnosti temperature prikazani su u tabličnom obliku i grafički pomoću dijagrama.

5.1. Homogenost temperature u radijalnom smjeru

Analizom rezultata mjerenja provedenih u temperaturnim točkama 20 °C, 40 °C i 60 °C utvrđena je mjerna nesigurnost zbog nehomogenosti temperature u radijalnom smjeru od 0 mK. Na temperaturi 80 °C javlja se minimalna mjerna nesigurnost od 1 mK pa se može tvrditi da kupka u radijalnom smjeru ima zanemarivu mjernu nesigurnost u području od 20 °C do 80 °C. Rezultati ispitivanja prikazani su u tablici 4.

Tablica 4. Homogenost temperature u radijalnom smjeru

Homogenost temperature u radijalnom smjeru				
Testna temp, °C	Provrt	θ, °C		
20°C	R1	20,043		
	R2	20,043		
	R3	20,043	a, mK	u (k=1), mK
	R4	20,043	0	0
40°C	R1	40,109		
	R2	40,109		
	R3	40,109	a, mK	u (k=1), mK
	R4	40,109	0	0
60°C	R1	60,300		
	R2	60,300		
	R3	60,300	a, mK	u (k=1), mK
	R4	60,300	0	0
80°C	R1	80,299		
	R2	80,300		
	R3	80,300	a, mK	u (k=1), mK
	R4	80,300	1	1

5.2. Homogenost temperature u aksijalnom smjeru

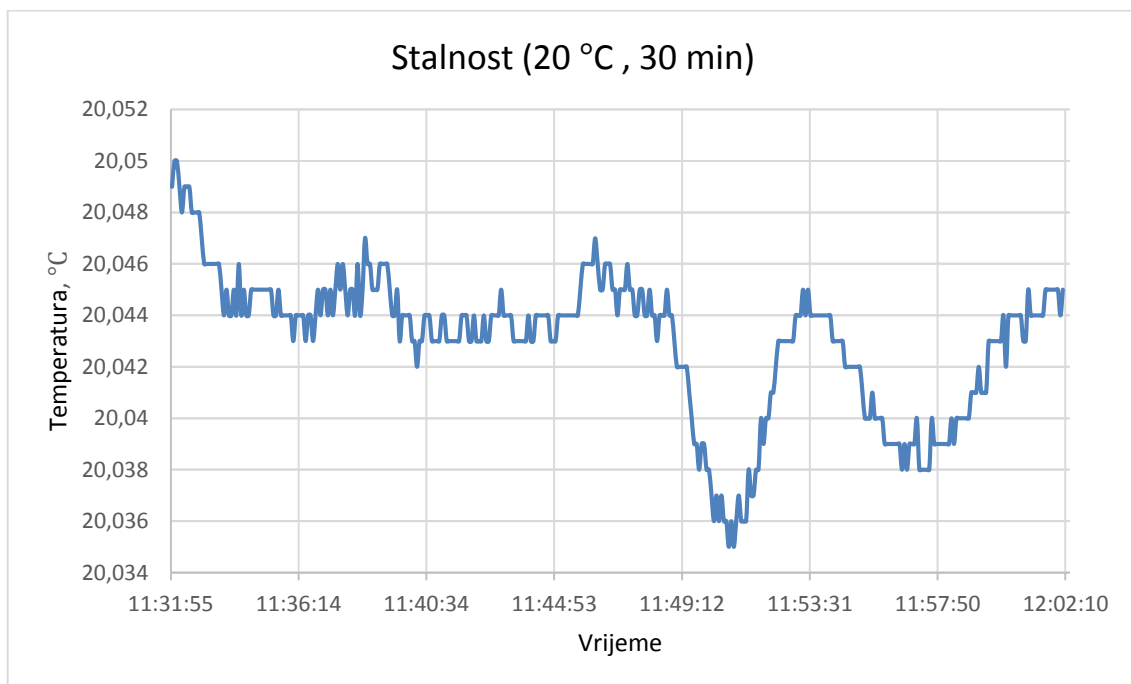
Analizom rezultata mjerenja provedenih u temperaturnim točkama 20 °C, 40 °C, 60 °C i 80 °C utvrđena je mjerna nesigurnost zbog nehomogenosti temperature u aksijalnom smjeru od 0 mK. Može se utvrditi kako kupka za dane temperature pokazuje idealna svojstva. Rezultati ispitivanja dani su u tablici 5.

Tablica 5. Homogenost temperature u aksijalnom smjeru

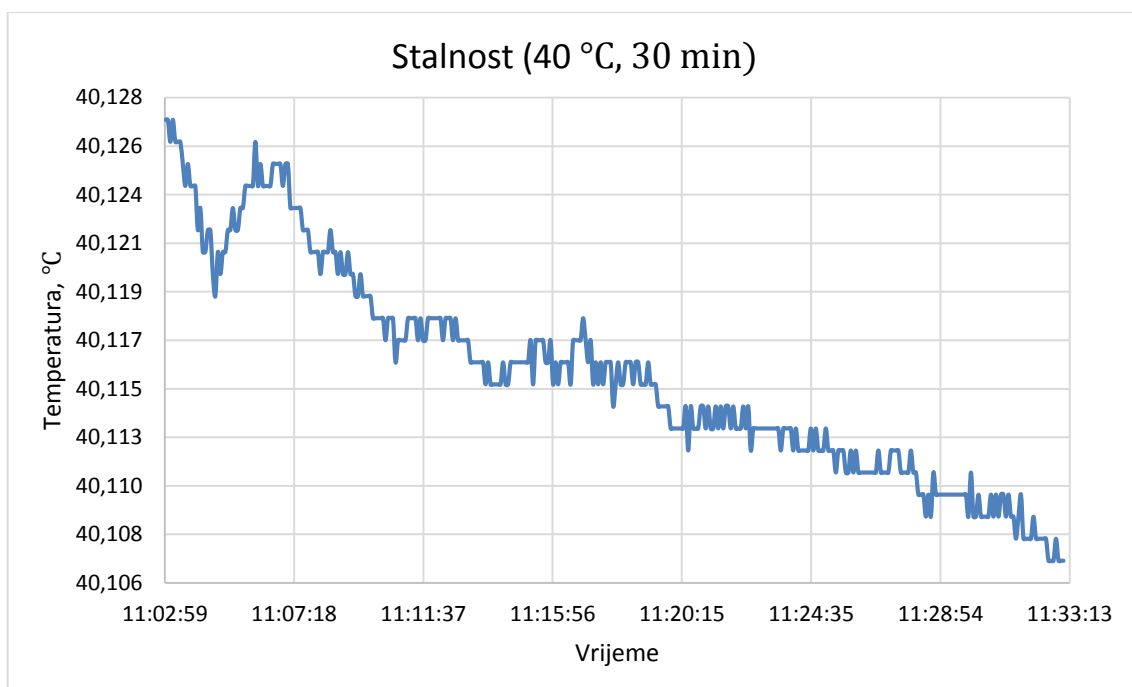
Homogenost temperature u aksijalnom smjeru				
Testna temp, °C	Provrt	ϑ , °C		
20°C	R1	20,043		
	R2	20,043		
	R3	20,043	a, mK	u (k=1), mK
	R4	20,043	0	0
40°C	R1	40,109		
	R2	40,109		
	R3	40,109	a, mK	u (k=1), mK
	R4	40,109	0	0
60°C	R1	60,300		
	R2	60,300		
	R3	60,300	a, mK	u (k=1), mK
	R4	60,300	0	0
80°C	R1	80,299		
	R2	80,300		
	R3	80,300	a, mK	u (k=1), mK
	R4	80,300	1	0

5.3. Stalnost temperature

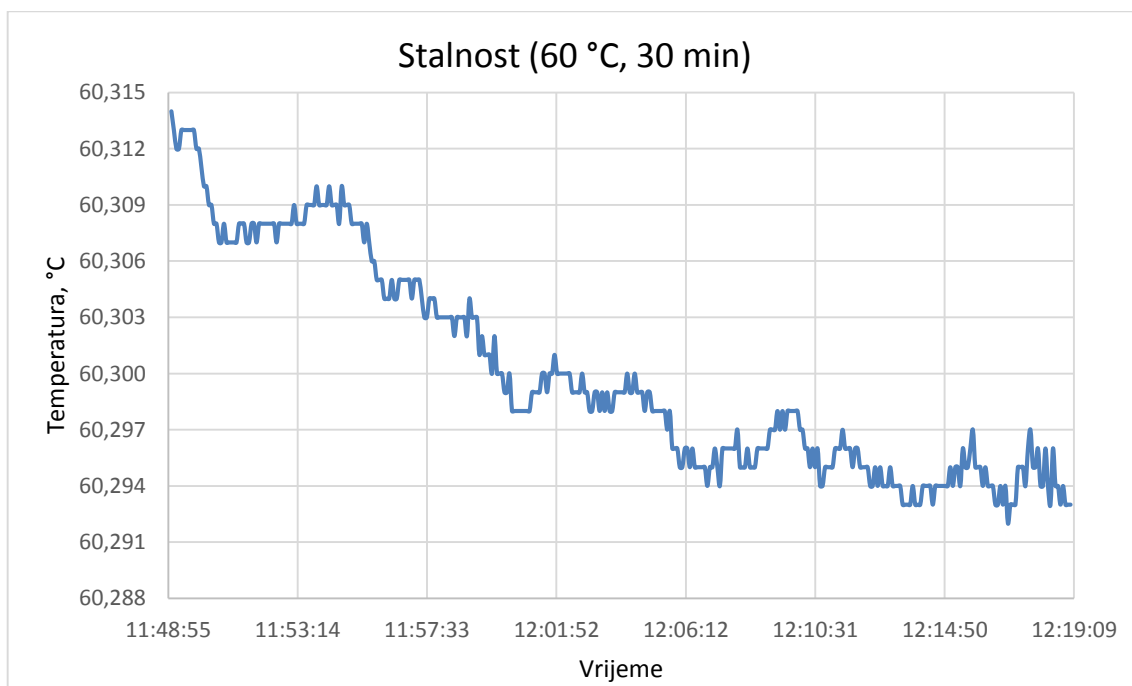
Rezultati ispitivanja stalnosti temperature pokazuju da je pri nižim temperaturama manja i mjerna nesigurnost. Rezultati ispitivanja stalnosti temperature prikazani su dijagramima na slikama 10, 11, 12, i 13, te tablicom 6.



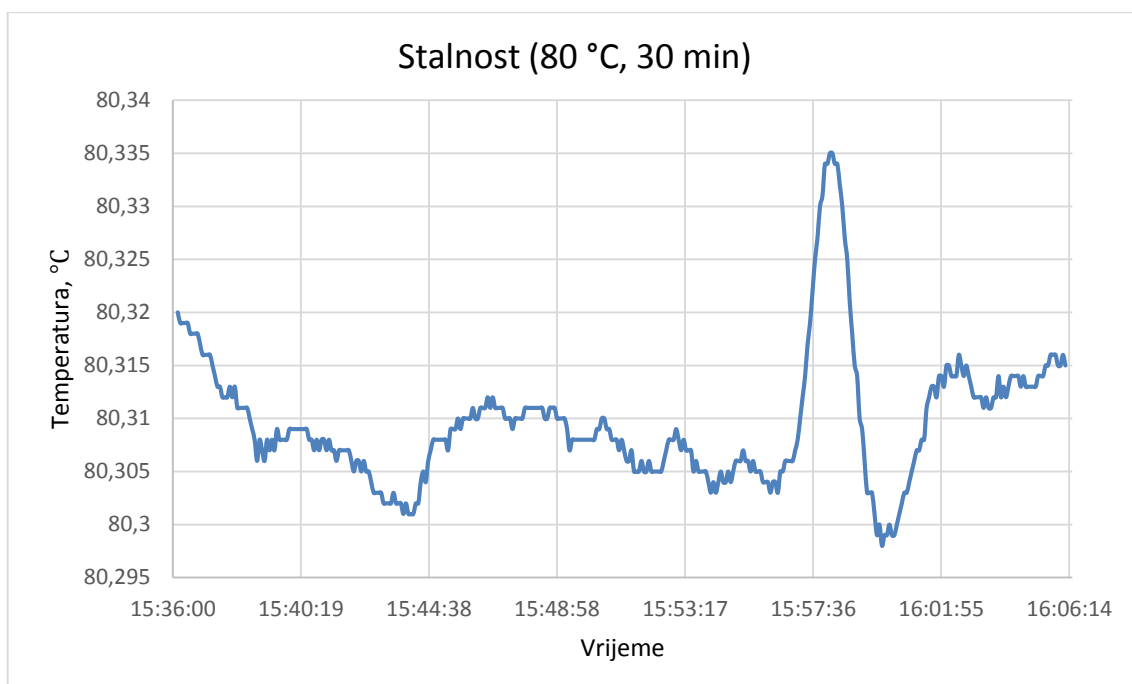
Slika 10. Dijagramski prikaz stalnosti temperature za 20 °C



Slika 11. Dijagramski prikaz stalnosti temperature za 40 °C



Slika 12. Dijagramski prikaz stalnosti temperature za 60 °C



Slika 13. Dijagramski prikaz stalnosti temperature za 80 °C

Tablica 6. Stalnost temperature

Stalnost temperature, 30 min				
Rupa:	R4	Termometar:	TEPOT 22	
Rezultati				
Testna temperatura, °C	Okolišna temperatura, °C	Raspon, mK	a, mK	u, ±mK
20	25	16	8	4
40	25	20	10	6
60	25	22	11	6
80	25	37	18	11

5.3. Ukupna nesigurnost kupke

Iz tablice 7 vidljivo je kako ukupnoj mjernoj nesigurnosti kupke najviše doprinosi stalnost temperature. Nesigurnosti u radijalnom i aksijalnom smjeru su zanemarive u odnosu na mjernu nesigurnosti zbog stalnosti temperature.

Tablica 7. Ukupna nesigurnost kupke

Ukupna nesigurnost kupke				
Temperatura	20°C	40°C	60°C	80°C
Nesigurnost zbog radijalnih gradijenata, u (k=1), mK	0	0	0	0
Nesigurnost zbog aksijalnih gradijenata, u (k=1), mK	0	0	0	1
Nesigurnost zbog stalnosti temperature, u(k=1), mK	4	6	6	11
Ukupan doprinos nesigurnosti u (k=1), mK	4	6	6	11

6. ZAKLJUČAK

Postupak ispitivanja termostatisane kupke Heto KB12 (TEKUP10) uspješno je proveden u Laboratoriju za Procesna mjerenja na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Zadatak ispitivanja bio je utvrditi temperaturnu homogenost i stalnost temperature unutar radnog volumena kupke. Rezultati ovog ispitivanja pokazali su da je kupka ispravna i prikladna za umjeravanje termometara u slučajevima kada se zahtjeva visoka točnost umjeravanja. Podaci iskazani u ovom radu koristiti će se u svakodnevnom radu laboratorija za procjenu mjerne nesigurnosti prilikom umjeravanja termometara.

LITERATURA

- [1] Nikola Radman, Ispitivanje karakteristika zona kontrolirane temperature, diplomski rad, FSB, Zagreb 2010.
- [2] Marin Mustać, Ispitivanje termostatirane vodene kupke za visokotemperaturni generator vlažnosti, završni rad, FSB, Zagreb, 2014.
- [3] Danijel Šestan, Nova metoda za realizaciju ljestvice injišta/rošišta zraka u temperaturnom području od -70 °C do 5 °C, FSB, Zagreb, 2015.

PRILOZI

I. CD-R disc